

MANUFACTURING METHOD FOR TITANIUM OXIDE FINE PARTICLES, PHOTOELECTRIC CONVERSION ELEMENT AND PHOTOCCELL

Patent number: JP2002261310
Publication date: 2002-09-13
Inventor: TSUKAHARA JIRO
Applicant: FUJI PHOTO FILM CO LTD
Classification:
- international: H01L31/04; C01G23/053; H01M14/00
- european:
Application number: JP20010058403 20010302
Priority number(s): JP20010058403 20010302

Abstract of JP2002261310

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a manufacturing method of titanium oxide fine particles which are suitable for a photoelectric conversion element and to provide a dye sensitized photoelectric conversion element of superior conversion efficiency and a photocell. **SOLUTION:** This manufacturing method of the titanium oxide fine particles is provided with the process of heating titanium oxide sol which is in the presence of a specified urea compound, and the method is used for the photoelectric conversion element and the photocell.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-261310
(P2002-261310A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002.9.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード* (参考)
H 0 1 L 31/04		C 0 1 G 23/053	4 G 0 4 7
C 0 1 G 23/053		H 0 1 M 14/00	P 5 F 0 5 1
H 0 1 M 14/00		H 0 1 L 31/04	Z 5 H 0 3 2

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2001-58403(P2001-58403)

(22) 出願日 平成13年3月2日 (2001.3.2)

(71) 出願人 000003201

富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 塚原 次郎

神奈川県南足柄市中沼210番地 富士写真
フイルム株式会社内

(74) 代理人 100105647

弁理士 小栗 昌平 (外4名)

Fターム(参考) 4G047 CA02 CB05 CC03 CD03

5F051 AA14 GA04 GA06

5H032 AA06 AS16 AS19 EE16 EE17

(54) 【発明の名称】 酸化チタン微粒子の製造方法、光電変換素子及び光電池

(57) 【要約】

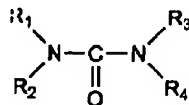
【課題】光電変換素子に好適な酸化チタン微粒子の製造方法を提供し、さらに変換効率の優れた色素増感光電変換素子および光電池を提供する。

【解決手段】酸化チタンゾルを特定の尿素化合物の存在下で加熱する工程を有する酸化チタン微粒子の製造方法およびこれを用いた光電変換素子および光電池。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 酸化チタンゾルまたは酸化チタン前駆体を下記一般式(1)で表される尿素化合物の存在下で加熱する工程を有することを特徴とする酸化チタン微粒子の製造方法。

【化1】



式中、 R_1 、 R_2 、 R_3 、及び R_4 は、各々独立して、水素原子、アルキル基、アルケニル基、アリール基、一級アミノ基、アルキルアミノ基、またはジアルキルアミノ基を表す。但し、 R_1 、 R_2 、 R_3 、及び R_4 は、互いに結合して環を形成していてもよい。

【請求項2】 一般式(1)における R_3 および R_4 がともに水素原子であることを特徴とする請求項2に記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

【請求項3】 尿素化合物の分子量が200以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

【請求項4】 尿素化合物が水溶性であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

【請求項5】 加熱する工程が、圧力容器を用いて150℃～300℃の温度で行われることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

【請求項6】 色素の吸着した半導体微粒子膜の層と導電性支持体とを少なくとも有する光電変換素子であって、該半導体微粒子膜の層に請求項1～5のいずれかの方法で製造された酸化チタン微粒子が用いられていることを特徴とする光電変換素子。

【請求項7】 半導体微粒子膜の層に平均粒子径100～400nmの酸化チタン微粒子が併用されていることを特徴とする請求項6に記載の光電変換素子。

【請求項8】 色素としてルテニウム錯体色素が用いられていることを特徴とする請求項6または7のいずれかに記載の光電変換素子。

【請求項9】 請求項6～8のいずれかに記載の光変換素子を用いた光電池。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、酸化チタン微粒子の製造方法に関し、詳しくは色素で増感された半導体微粒子を用いた光電変換素子に好ましく用いられる酸化チタン微粒子の製造方法に関する。さらに本発明は、上記製造方法で得られた酸化チタン微粒子を用いた光電変換素子及び光電池に関する。

【0002】

【従来の技術】光電変換素子は、各種の光センサー、複写機、光発電装置に用いられている。光電変換素子には、金属を用いたもの、半導体を用いたもの、有機顔料や色素を用いたもの、あるいはこれらを組み合わせたものなどの様々な方式が実用化されている。

【0003】米国特許4927721号、同4684537号、同5084365号、同5350644号、同5463057号、同5525440号、国際公開WO98/50393号の各明細書および特開平7-249790号、特表平10-504521号の各公報には、色素によって増感された半導体微粒子を用いた光電変換素子(以後、色素増感光電変換素子と略す)、もしくはこれを製造するための材料および製造技術が開示されている。この方式の利点は酸化チタン微粒子を用いることができるため、安価な光電変換素子を提供できる点にある。酸化チタン微粒子の製造には、通常ゾル-ゲル法が好ましく用いられる。ゾル-ゲル法は当該分野においては広く知られた微粒子合成法であり、例えばバーンサイドらのケミストリー・オブ・マテリアルズ、第10巻、第9号、2419～2425頁等に詳しく記載されている。ゾル-ゲル法で製造された酸化チタン微粒子を色素増感光電変換素子に応用した例としては、バルベラの報告したジャーナル・オブ・アメリカン・セラミック・ソサエティ、第80巻、第12号、3157～3171頁(1997年)が挙げられる。しかしながらこのような光電変換素子は作成したすべての素子について常に変換効率が高いとは限らず、なお一層の変換効率向上が望まれていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、色素増感光電変換素子に用いたときに、該素子の変換効率が向上する優れた酸化チタン微粒子の製造方法を提供することにある。本発明の他の目的は、該酸化チタン微粒子を用い変換効率の向上した色素増感光電変換素子およびそれを用いた光電池を提供することにある。

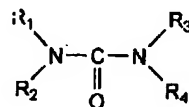
【0005】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、下記構成の酸化チタン微粒子の製造方法、光電変換素子及び光電池が提供され、本発明の上記目的が達成される。

1. 酸化チタンゾルまたは酸化チタン前駆体を下記一般式(1)で表される尿素化合物の存在下で加熱する工程を有することを特徴とする酸化チタン微粒子の製造方法。

【0006】

【化2】



【0007】式中、 R_1 、 R_2 、 R_3 、及び R_4 は、各々独立して、水素原子、アルキル基、アルケニル基、アリ-

ル基、一級アミノ基、アルキルアミノ基、またはジアルキルアミノ基を表す。但し、 R_1 、 R_2 、 R_3 、及び R_4 は、互いに結合して環を形成していてもよい。

2. 一般式(1)における R_3 および R_4 がともに水素原子であることを特徴とする上記2に記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

3. 尿素化合物の分子量が200以下であることを特徴とする上記1または2に記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

4. 尿素化合物が水溶性であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

5. 加熱する工程が、压力容器を用いて150℃～300℃の温度で行われることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

6. 酸化チタンゾルが、酸化チタン前駆体またはその錯体を加水分解して得られたものであることを特徴とする上記1～5のいずれかに記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

7. 酸化チタン前駆体が、ハロゲン化チタン及びオルトチタン酸エステルから選択された化合物であることを特徴とする上記6に記載の酸化チタン微粒子の製造方法。

8. 色素の吸着した半導体微粒子膜の層と導電性支持体とを少なくとも有する光電変換素子であって、該半導体微粒子膜の層に上記1～7のいずれかの方法で製造された酸化チタン微粒子が用いられていることを特徴とする光電変換素子。

9. 酸化チタン微粒子の平均粒子径が、5～50nmであることを特徴とする上記8に記載の光電変換素子。

10. 半導体微粒子膜の層に平均粒子径100～400nmの酸化チタン微粒子が併用されていることを特徴とする上記9に記載の光電変換素子。

11. 色素としてルテニウム錯体色素が用いられていることを特徴とする上記8～10のいずれかに記載の光電変換素子。

12. 上記8～11のいずれかに記載の光電変換素子を用いた光電池。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について詳述する。

〔1〕酸化チタン微粒子の製造法

本発明における酸化チタンの製造方法は、基本的にはゾルーゲル法に基づく方法である。ゾルーゲル法は、酸化チタン前駆体の加水分解、压力容器中での加熱処理、後処理の各工程を含む。本発明は、上記加水分解工程もしくは压力容器中の加熱処理工程において上記一般式(1)で表される尿素化合物を添加することを特徴とする。

【0009】一般式(1)において、 R_1 、 R_2 、 R_3 及

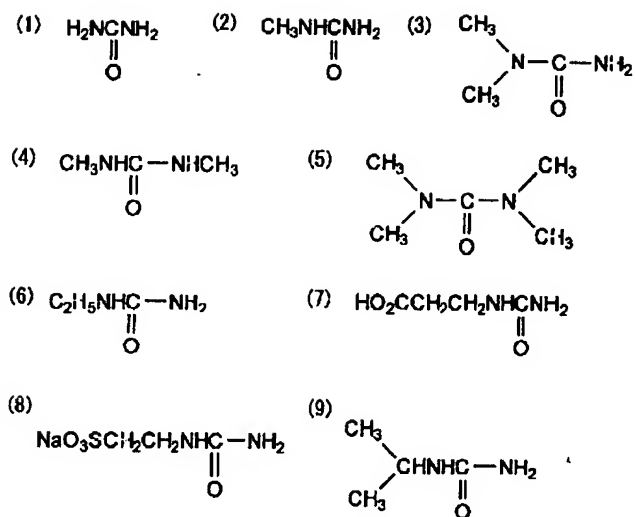
び R_4 は、各々独立して、水素原子；アルキル基、好ましくは炭素数1～6のアルキル基、例えばメチル、エチル、プロピル、ブチル等；アルケニル基、好ましくは炭素数2～6のアルケニル基、例えばビニル、アリルなど；アリール基、好ましくは炭素数6～10のアリール基、例えばフェニルなど；一級アミノ基；アルキルアミノ基、好ましくは炭素数1～6のアルキルアミノ基、例えばメチルアミノ、エチルアミノなど；またはジアルキルアミノ基、好ましくは炭素数2～6のジアルキルアミノ基、例えばジメチルアミノ、ジエチルアミノなど；を表す。 R_1 、 R_2 、 R_3 及び R_4 は、それぞれが連結して5～6員環を形成してもよい。これらの基はさらに置換基を有してもよい。

【0010】置換基の例としては、ハロゲン原子、アルキル基（シクロアルキル基、ビスシクロアルキル基を含む）、アルケニル基（シクロアルケニル基、ビスシクロアルケニル基を含む）、アルキニル基、アリール基、ヘテロ環基、シアノ基、ヒドロキシ基、ニトロ基、カルボキシ基、アルコキシ基、アリールオキシ基、シリルオキシ基、ヘテロ環オキシ基、アシルオキシ基、カルバモイルオキシ基、アルコキシカルボニルオキシ基、アリールオキシカルボニルオキシ基、アミノ基（アニリノ基を含む）、アシルアミノ基、アミノカルボニルアミノ基、アルコキシカルボニルアミノ基、アリールオキシカルボニルアミノ基、スルファモイルアミノ基、アルキル及びアリールスルホニルアミノ基、メルカプト基、アルキルチオ基、アリールチオ基、ヘテロ環チオ基、スルファモイル基、スルホ基、アルキル及びアリールスルフィニル基、アルキル及びアリールスルホニル基、アシル基、アリールオキシカルボニル基、アルコキシカルボニル基、カルバモイル基、アリール及びヘテロ環アゾ基、イミド基、ホスフィノ基、ホスフィニル基、ホスフィニルオキシ基、ホスフィニルアミノ基、シリル基が例として挙げられる。

【0011】一般式(1)で表される尿素化合物は水溶性であることが望まれる。このため、尿素化合物の分子量は200以下が好ましい。また、末端が無置換のもの、すなわち一般式(1)における R_3 および R_4 がともに水素原子であることも好ましい。また、水溶性を増すための置換基（例えばカルボキシ基およびその塩、スルホ基およびその塩、ヒドロキシ基、アミノ基など）を有することも同様に好ましい。尿素化合物の水に対する好ましい溶解度の範囲は、水100gに対して0.1g以上、好ましくは1g以上である。以下に一般式(1)で表される尿素化合物の好ましい具体例を示すが、本発明はこれらに限定されない。

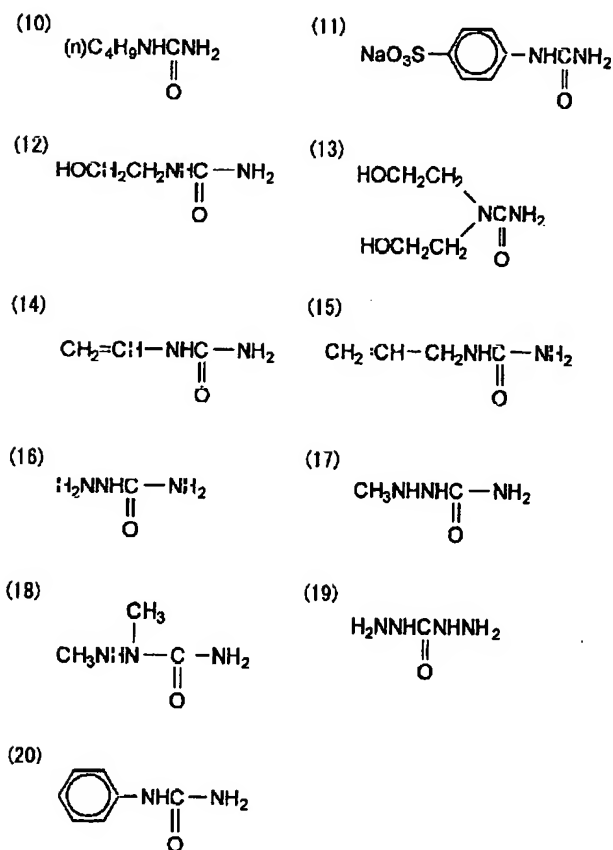
【0012】

【化3】



【0013】

【化4】



【0014】本発明において、尿素化合物は加熱工程に存在していればよく、尿素化合物の添加時期は加水分解工程、圧力容器中での加熱工程のいずれでもよい。尿素化合物の添加量は、いずれの場合も反応液中の水100gに対して好ましくは0.1～20gであり、より好ましくは1～10gである。

【0015】次に酸化チタン微粒子の製造法について詳しく説明する。

〔酸化チタン前駆体の加水分解〕酸化チタン前駆体は加水分解により酸化チタンを生ずるものであり、例えばハロゲン化チタン（三塩化チタン、四塩化チタンなど）、オルトチタン酸エステル（オルトチタン酸メチル、オル

トチタン酸エチル、オルトチタン酸イソプロピル、オルトチタン酸ブチルなど）等が挙げられる。このうちオルトチタン酸エステルが好ましい。これらの前駆体は、加水分解に先だって各種の配位子（例えばアセチルアセトン、アミノエタノール、ジエタノールアミン、トリエタノールアミン、エチレンジアミン、その他のアミン、ピリジンカルボン酸、酒石酸、シュウ酸、乳酸、グリコール酸、その他のヒドロキシカルボン酸など）と混合し、前駆体の錯体を形成し、該錯体を加水分解に用いてもよい。

【0016】上記前駆体もしくはその錯体は、水中にて加熱し加水分解する。加熱の温度は通常40℃～100℃であり、好ましくは60℃～90℃である。加熱時間は通常1～20時間であり、好ましくは2～10時間である。加水分解の際、反応を促進もしくは抑制するための添加剤を加えてもよい。このような添加剤の例としては酢酸、硫酸、硝酸、アンモニア、テトラアルキルアンモニウムヒドロキッド、前述の配位子等が挙げられる。この工程により、通常ゾル状の酸化チタン超微粒子分散物が得られる。

【0017】〔圧力容器中での加熱処理〕前記加水分解工程で得られた酸化チタンゾルを圧力容器（例えばチタン製オートクレーブ、ステンレス製オートクレーブ等）に移し、100℃～400℃好ましくは150℃～300℃に加熱する。オートクレーブは攪拌装置が付属しているのが好ましい。加熱時間は1～60時間であり、好ましくは5～30時間である。この工程により酸化チタンの分散物が得られる。酸化チタンの粒径は加熱温度、加熱時間、添加剤の種類、量によって変化し、平均粒径として通常5～50nmである。分散物は静置すると酸化チタンが沈降するのが普通である。

【0018】本発明では、この加熱処理工程において、前記一般式（1）で表される尿素化合物が存在していることが必須である。尿素化合物の存在により、上記加水分解工程で生成したゾル状の酸化チタン超微粒子が多孔質の酸化チタン微粒子に成長する。酸化チタン微粒子が多孔質であることにより、これを光電変換素子に用いると色素担持量が増加し光電変換特性が向上する。このような観点から、尿素化合物の加熱工程における存在量は、前記添加量と同じく、水100gに対して0.1～20gであることが好ましく、より好ましくは1～10gである。

【0019】〔後処理〕加熱工程で得られた酸化チタン分散物は、後処理によって濃縮または溶媒置換される。使用目的に応じて最終的には乾燥粉末、水分散液、水分散ペースト、有機溶媒分散液、あるいは有機溶媒分散ペーストを調製する。濃縮の方法としては、静置または遠心分離に引き続くデカンテーションによる方法、水の減圧留去法がある。溶媒置換の方法は、遠心分離、デカンテーション、溶媒添加を繰り返す方法が一般的であ

る。ペーストを得るための増粘剤としては、各種のポリマー（例えばポリスチレンスルホン酸塩、ポリアクリル酸およびその塩、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオキシド、ポリアクリルアミドなど）、多糖類、ゼラチン、各種の低分子増粘剤（シトロネロール、ネロール、テルピネオールなど）が好ましい。水分散液、水分散ペースト、有機溶媒分散液、有機溶媒分散ペーストにおける酸化チタンの含量は1～40%が好ましく、10～30%がより好ましい。

【0020】〔2〕光電変換素子

次に本発明の方法で製造された酸化チタンの用途である光電変換素子について詳しく説明する。本発明の光電変換素子は、色素の吸着した半導体微粒子膜の層と導電性支持体とを少なくとも有し、該半導体微粒子膜の層に上記本発明の方法で製造された酸化チタン微粒子が用いられていることを特徴とする本発明の光電変換素子は、好ましくは図1に示すように、導電層10、下塗り層60、感光層20、電荷輸送層30、対極導電層40の順に積層し、該感光層20を色素22によって増感された酸化チタン微粒子21とこの酸化チタン微粒子21の間の空隙に浸透した電荷輸送材料23とから構成する。ここで、感光層20が半導体微粒子膜の層（以下「半導体微粒子層」ともいう）に相当し、酸化チタン微粒子21の全部または一部に本発明の方法で製造された酸化チタン微粒子が用いられる。電荷輸送材料23は、電荷輸送層30に用いる材料と同じ成分からなる。また光電変換素子に強度を付与するため、導電層10および／または対極導電層40の下地として、基板50を設けてもよい。以下本発明では、導電層10および任意で設ける基板50からなる層を「導電性支持体」、対極導電層40および任意で設ける基板50からなる層を「対極」と呼ぶ。本発明においては、感光層20は光散乱性の異なる複数の層から成っている。なお、図1中の導電層10、対極導電層40、基板50は、それぞれ透明導電層10a、透明対極導電層40a、透明基板50aであっても良い。この光電変換素子を外部負荷に接続して電氣的仕事をさせる目的（発電）で作られたものが光電池であり、光学的情報のセンシングを目的に作られたものが光センサーである。光電池のうち、電荷輸送材料23が主としてイオン輸送材料からなる場合を特に光電気化学電池と呼び、また、太陽光による発電を主目的とする場合を太陽電池と呼ぶ。

【0021】（A）導電性支持体

導電性支持体は、（1）導電層の単層、または（2）導電層および基板の2層からなる。強度や密封性が十分に保たれるような導電層を使用すれば、基板は必ずしも必要でない。

【0022】（1）の場合、導電層として金属のように十分な強度が得られ、かつ導電性があるものを用いる。

【0023】（2）の場合、感光層側に導電剤を含む導電層を有する基板を使用することができる。好ましい導

電剤としては金属（例えば白金、金、銀、銅、アルミニウム、ロジウム、インジウム等）、炭素、または導電性金属酸化物（インジウムスズ複合酸化物、酸化スズにフッ素をドーピングしたもの等）が挙げられる。導電層の厚さは0.02～10 μ m程度が好ましい。

【0024】導電性支持体は表面抵抗が低い程よい。好ましい表面抵抗の範囲は100 Ω /□以下であり、さらに好ましくは40 Ω /□以下である。表面抵抗の下限には特に制限はないが、通常0.1 Ω /□程度である。

【0025】導電性支持体側から光を照射する場合には、導電性支持体は実質的に透明であるのが好ましい。実質的に透明であるとは、光の透過率が10%以上であることを意味し、50%以上であるのが好ましく、70%以上が特に好ましい。

【0026】透明導電性支持体としては、ガラスまたはプラスチック等の透明基板の表面に導電性金属酸化物からなる透明導電層を塗布または蒸着等により形成したものが好ましい。なかでもフッ素をドーピングした二酸化スズからなる導電層を低コストのソーダ石灰フロートガラスでできた透明基板上に堆積した導電性ガラスが好ましい。また低コストでフレキシブルな光電変換素子または太陽電池とするには、透明ポリマーフィルムに導電層を設けたものを用いるのがよい。透明ポリマーフィルムの材料としては、テトラアセチルセルロース（TAC）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、シンジオタクチックポリステレン（SPS）、ポリフェニレンスルフィド（PPS）、ポリカーボネート（PC）、ポリアリレート（PAr）、ポリスルホン（PSF）、ポリエステルスルホン（PES）、ポリエーテルイミド（PEI）、環状ポリオレフィン、ブROM化フェノキシ等がある。十分な透明性を確保するために、導電性金属酸化物の塗布量はガラスまたはプラスチックの支持体1 m^2 当たり0.01～100gとするのが好ましい。

【0027】透明導電性支持体の抵抗を下げる目的で金属リードを用いるのが好ましい。金属リードの材質はアルミニウム、銅、銀、金、白金、ニッケル等の金属が好ましく、特にアルミニウムおよび銀が好ましい。金属リードは、透明基板に蒸着、スパッタリング等で設置し、その上にフッ素をドーピングした酸化スズ、またはITO膜からなる透明導電層を設けるのが好ましい。また透明導電層を透明基板に設けた後、透明導電層上に金属リードを設置するのも好ましい。金属リード設置による入射光量の低下は好ましくは10%以内、より好ましくは1～5%とする。

【0028】(B) 感光層

本発明において色素吸着前の半導体微粒子層を半導体微粒子層といい、色素吸着後の半導体微粒子層を感光層という。本発明の光変換素子においては、半導体微粒子層を構成する酸化チタン微粒子の全部または一部に本発明の方法で製造された酸化チタン微粒子が用いられる。

(1) 感光層

感光層において、酸化チタン微粒子は、いわゆる感光体として作用し、光を吸収して電荷分離を行い、電子と正孔を生ずる。色素増感された半導体微粒子では、光吸収およびこれによる電子および正孔の発生は主として色素において起こり、酸化チタン微粒子はこの電子を受け取り、伝達する役割を担う。酸化チタンは光励起下で伝導体電子がキャリアーとなり、アノード電流を与えるn型半導体である。

【0029】本発明者らの検討によれば、本発明の方法で製造された酸化チタン微粒子（平均粒径5～50nm）と粒径100～400nmの酸化チタン粒子（大粒子）を混合して用いると変換効率が高いことが明らかとなった。従って、用いる酸化チタンはこのような構成であることが好ましい。本発明の方法で製造された酸化チタン微粒子の酸化チタン粒子全体に占める比率は30～95%が好ましく、60～90%がより好ましい。

【0030】(2) 半導体微粒子層

半導体微粒子（酸化チタン粒子）を導電性支持体上に塗布するには、湿式の製膜方法が比較的有利である。湿式の製膜方法としては、塗布法、印刷法が代表的である。半導体微粒子の分散液を作製する方法としては、前述の方法の他に、粉末を乳鉢ですり潰す方法、ミルを使って粉砕しながら分散する方法もある。

【0031】分散媒としては、水または各種の有機溶媒（例えばメタノール、エタノール、イソプロピルアルコール、ジクロロメタン、アセトン、アセトニトリル、酢酸エチル等）が挙げられる。分散の際、必要に応じて例えばポリエチレングリコールのようなポリマー、界面活性剤、酸、またはキレート剤等を分散助剤として用いてもよい。ポリエチレングリコールの分子量を変えることで、剥がれにくい膜を形成したり、分散液の粘度が調節可能となるので、ポリエチレングリコールを添加することは好ましい。

【0032】塗布方法としては、アプリケーション系としてローラ法、ディップ法等、メータリング系としてエアナイフ法、ブレード法等、またアプリケーションとメータリングを同一部分にできるものとして、特公昭58-4589号に開示されているワイヤーバー法、米国特許2681294号、同2761419号、同2761791号等に記載のスライドホッパー法、エクストルージョン法、カーテン法等が好ましい。また汎用機としてスピン法やスプレー法も好ましい。湿式印刷方法としては、凸版、オフセットおよびグラビアの3大印刷法をはじめ、凹版、ゴム版、スクリーン印刷等が好ましい。これらの中から、液粘度やウェット厚さに応じて、好ましい製膜方法を選択する。

【0033】半導体微粒子の分散液の粘度は半導体微粒子の種類や分散性、使用溶媒種、界面活性剤やバインダー等の添加剤により大きく左右される。高粘度液（例えば0.01～500Poise）ではエクストルージョン法、キャス

ト法、スクリーン印刷法等が好ましい。また低粘度液（例えば0.1Poise以下）ではスライドホッパー法、ワイヤー法またはスピニング法が好ましく、均一な膜にすることが可能である。なおある程度の塗布量があれば低粘度液の場合でもエクストルージョン法による塗布は可能である。このように塗布液の粘度、塗布量、支持体、塗布速度等に応じて、適宜湿式製膜方法を選択すればよい。

【0034】多層塗布をする場合は同時に多層を塗布してもよく、数回から十数回順次重ね塗りしてもよい。さらに順次重ね塗りであればスクリーン印刷法も好ましく使用できる。

【0035】一般に半導体微粒子層の厚さ（感光層の厚さと同じ）が厚くなるほど単位投影面積当たりの担持色素量が増えるため、光の捕獲率が高くなるが、生成した電子の拡散距離が増すため電荷再結合によるロスも大きくなる。したがって、半導体微粒子層の好ましい厚さは0.1~100 μm である。太陽電池に用いる場合、半導体微粒子層の厚さは1~30 μm が好ましく、2~25 μm がより好ましい。半導体微粒子の総塗布量は支持体1 m^2 当たり0.5~100gが好ましく、5~50gがより好ましい。

【0036】半導体微粒子を導電性支持体上に塗布した後で半導体微粒子同士を電子的に接触させるとともに、塗膜強度の向上や支持体との密着性を向上させるために、加熱処理するのが好ましい。好ましい加熱温度の範囲は40℃~700℃であり、より好ましくは100℃~600℃である。また加熱時間は10分~10時間程度である。ポリマーフィルムのように融点や軟化点の低い支持体を用いる場合、高温処理は支持体の劣化を招くため、好ましくない。またコストの観点からもできる限り低温であるのが好ましい。低温化は、先に述べた5nm以下の小さい半導体微粒子の併用や銨酸の存在下での加熱処理等により可能となる。重層構成の感光層を得るために塗布と加熱処理を順次繰り返して行ってもよい。

【0037】加熱処理後半導体微粒子の表面積を増大させたり、半導体微粒子近傍の純度を高め、色素から半導体微粒子への電子注入効率を高める目的で、例えば四塩化チタン水溶液を用いた化学メッキ処理や三塩化チタン水溶液を用いた電気化学的メッキ処理を行ってもよい。

【0038】半導体微粒子は多くの色素を吸着することができるように表面積の大きいものが好ましい。このため半導体微粒子の層を支持体上に塗布した状態での表面積は、投影面積に対して10倍以上であるのが好ましく、さらに100倍以上であるのが好ましい。この上限は特に制限はないが、通常1000倍程度である。

【0039】(3) 色素

感光層に用いる増感色素は、可視域や近赤外域に吸収を

有し、半導体を増感しうる化合物なら任意に用いることができるが、有機金属錯体色素、メチン色素、ポルフィリン系色素またはフタロシアニン系色素が好ましい。また、光電変換の波長域をできるだけ広くし、かつ変換効率を上げるため、二種類以上の色素を併用または混合することができる。この場合、目的とする光源の波長域と強度分布に合わせるように、併用または混合する色素とその割合を選ぶことができる。

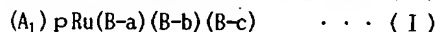
【0040】こうした色素は半導体微粒子の表面に対して吸着能力の有る適当な結合基（interlocking group）を有しているのが好ましく、本発明のように使用する粒径の幅が大きい場合はそれぞれの表面に等しく吸着されるため、特に好ましい。好ましい結合基としては、COOH基、OH基、SO₃H基、-P(O)(OH)₂基または-OP(O)(OH)₂基のような酸性基、あるいはオキシム、ジオキシム、ヒドロキシキノリン、サリチレートまたは α -ケトエノレートのような π 伝導性を有するキレート化基が挙げられる。なかでもCOOH基（カルボキシル基）、-P(O)(OH)₂基（ホスホニル基）または-OP(O)(OH)₂基（ホスホリル基）が特に好ましい。これらの基はアルカリ金属等と塩を形成していてもよく、また分子内塩を形成していてもよい。またポリメチン色素の場合、メチン鎖がスクアリウム環やクロコニウム環を形成する場合のように酸性基を含有するなら、この部分を結合基としてもよい。

【0041】以下、感光層に用いる好ましい増感色素を具体的に説明する。

(a) 有機金属錯体色素

色素が金属錯体色素である場合、金属フタロシアニン色素、金属ポルフィリン色素またはルテニウム錯体色素が好ましく、ルテニウム錯体色素が特に好ましい。ルテニウム錯体色素としては、例えば米国特許4927721号、同4684537号、同5084365号、同5350644号、同5463057号、同5525440号、特開平7-249790号、特表平10-504512号、国際公開W098/50393号、特開2000-26487号等に記載の錯体色素が挙げられる。

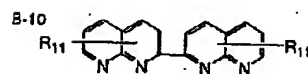
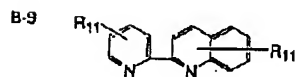
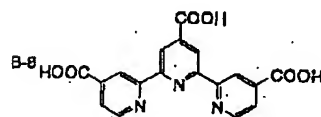
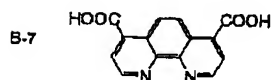
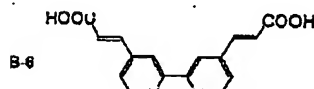
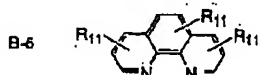
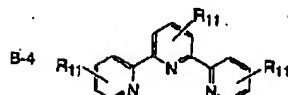
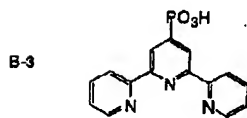
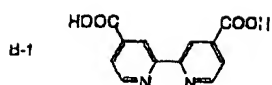
【0042】さらに本発明で好ましく用いることができるルテニウム錯体色素は、下記一般式(I)：



により表されるのが好ましい。一般式(I)中、A₁は1または2座の配位子を表し、Cl、SCN、H₂O、Br、I、CN、NCOおよびSeCN、ならびに β -ジケトン類、シュウ酸およびジチオカルバミン酸の誘導体からなる群から選ばれた配位子が好ましい。pは0~3の整数である。B-a、B-bおよびB-cは、それぞれ独立に、下記式B-1~B-10：

【0043】

【化5】



【0044】（ただし、 R_{11} は水素原子または置換基を表し、置換基としてはたとえば、ハロゲン原子、炭素原子数1～12の置換または無置換のアルキル基、炭素原子数7～12の置換または無置換のアラルキル基、炭素原子数6～12の置換または無置換のアリール基、あるいは前述の酸性基（これらの酸性基は塩を形成していてもよい）やキレート化基が挙げられ、アルキル基およびアラルキル基のアルキル部分は直鎖状でも分岐状でもよく、またアリール基およびアラルキル基のアリール部分は単

環でも多環（縮合環、環集合）でもよい。）により表される化合物から選ばれた有機配位子を表す。有機配位子であるB-a、B-bおよびB-clは、同一でも異なってもよく、有機配位子の数は1～3のいずれでもよい。

【0045】有機金属錯体色素の好ましい具体例を以下に示すが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0046】

【化6】

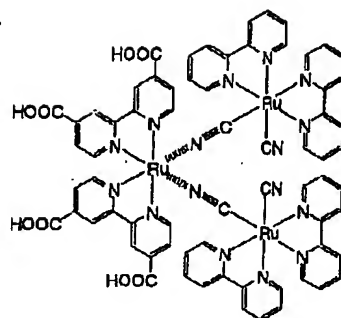
(A₁)_p(B-a)(B-b)(B-c) . . . (1)

	A ₁	p	B-a	B-b	B-c	R ₁₁
R-1	SCN	2	B-1	B-1	—	—
R-2	CN	2	B-1	B-1	—	—
R-3	Cl	2	B-1	B-1	—	—
R-4	CN	2	B-7	B-7	—	—
R-5	SCN	2	B-7	B-7	—	—
R-6	SCN	2	B-1	B-2	—	H
R-7	SCN	1	B-1	B-3	—	—
R-8	Cl	1	B-1	B-4	—	H
R-9	I	2	B-1	B-5	—	H
R-10	SCN	3	B-8	—	—	—
R-11	CN	3	B-8	—	—	—
R-12	SCN	1	B-2	B-8	—	H
R-13	—	0	B-1	B-1	B-1	—

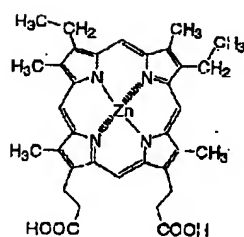
【0047】

【化7】

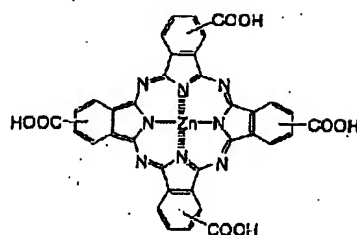
R-14



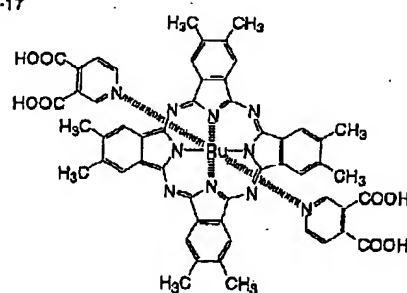
H-15



R-16



R-17



【0048】(b) メチン色素

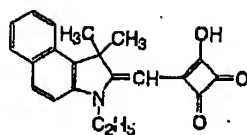
本発明に使用する色素の好ましいメチン色素は、シアニン色素、メロシアニン色素、スクワリリウム色素などのポリメチン色素である。本発明で好ましく用いられるポリメチン色素の例は、特開平11-35836号、特開平11-67285号、特開平11-86916号、特開平11-97725号、特開平11-158395号、特開平11-163378号、特開平11-214

730号、特開平11-214731号、特開平11-238905号、特開2000-26487号、欧州特許892411号、同911841号および同991092号の各明細書に記載の色素である。好ましいメチン色素の具体例を下に示す。

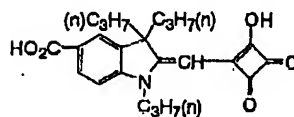
【0049】

【化8】

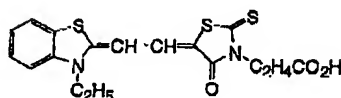
M-1



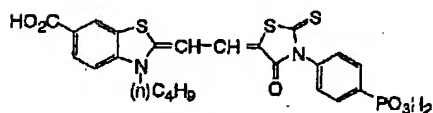
M-2



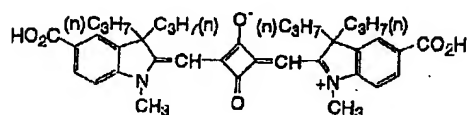
M-3



M-4



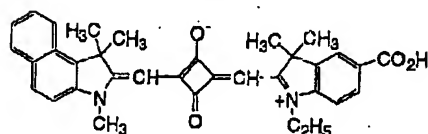
M-5



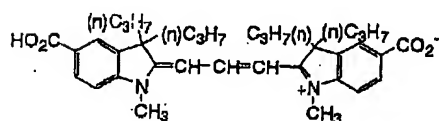
【0050】

【化9】

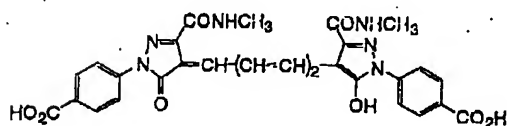
M-6



M-7



M-8



【0051】(4) 半導体微粒子への色素の吸着
半導体微粒子に色素を吸着させるには、色素の溶液中に良く乾燥した半導体微粒子層を有する導電性支持体を浸漬するか、色素の溶液を半導体微粒子層に塗布する方法を用いることができる。前者の場合、浸漬法、ディップ法、ローラ法、エアナイフ法等が使用可能である。浸

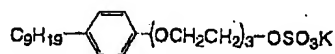
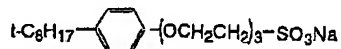
漬法の場合、色素の吸着は室温で行ってもよいし、特開平7-249790号に記載されているように加熱還流して行ってもよい。また後者の塗布方法としては、ワイヤーバー法、スライドホッパー法、エクストルージョン法、カーテン法、スピン法、スプレー法等がある。また、インクジェット法等によって色素を画像状に塗布し、この画像

そのものを光電変換素子とすることもできる。色素を溶解する溶媒として好ましいのは、例えば、アルコール類（メタノール、エタノール、n-ブタノール、ベンジルアルコール等）、ニトリル類（アセトニトリル、プロピオニトリル、3-メトキシプロピオニトリル等）、ニトロメタン、ハロゲン化炭化水素（ジクロロメタン、ジクロロエタン、クロロホルム、クロロベンゼン等）、エーテル類（ジエチルエーテル、テトラヒドロフラン等）、ジメチルスルホキシド、アミド類（N,N-ジメチルホルムアミド、N,N-ジメチルアセタミド等）、N-メチルピロリドン、1,3-ジメチルイミダゾリジノン、3-メチルオキサゾリジノン、エステル類（酢酸エチル、酢酸ブチル等）、炭酸エステル類（炭酸ジエチル、炭酸エチレン、炭酸プロピレン等）、ケトン類（アセトン、2-ブタノン、シクロヘキサノン等）、炭化水素（ヘキサン、石油エーテル、ベンゼン、トルエン等）やこれらの混合溶媒が挙げられる。

【0052】色素の全吸着量は、多孔質半導体電極基板の単位面積（1 m²）当たり0.01~100 mmolが好ましい。また色素の半導体微粒子に対する吸着量は、半導体微粒子1 g当たり0.01~1 mmolの範囲であるのが好ましい。このような色素の吸着量とすることにより半導体における増感効果が十分に得られる。これに対し、色素が少なすぎると増感効果が不十分となり、また色素が多すぎると半導体に付着していない色素が浮遊し、増感効果を低減させる原因となる。色素の吸着量を増大させるためには、吸着前に加熱処理を行うのが好ましい。加熱処理後、半導体微粒子表面に水が吸着するのを避けるため、常温に戻さずに、半導体電極基板の温度が60~150℃の間で素早く色素の吸着操作を行うのが好ましい。また、色素間の凝集などの相互作用を低減する目的で、無色の化合物を色素に添加し、半導体微粒子に共吸着させてもよい。この目的で有効な化合物は界面活性な性質、構造をもった化合物であり、例えば、カルボキシル基を有するステロイド化合物（例えばケノデオキシコール酸）や下記の例のようなスルホン酸塩類が挙げられる。

【0053】

【化10】



【0054】未吸着の色素は、吸着後速やかに洗浄により除去するのが好ましい。湿式洗浄槽を使い、アセトニトリル等の極性溶剤、アルコール系溶剤のような有機溶媒で洗浄を行うのが好ましい。色素を吸着した後にアミン類や4級塩を用いて半導体微粒子の表面を処理してもよい。好ましいアミン類としてはピリジン、4-tert-ブチルピリジン、ポリビニルピリジン等が挙げられ、好ましい4級塩としてはテトラブチルアンモニウムヨード、テトラヘキシルアンモニウムヨード等が挙げられる。これらが液体の場合はそのまま用いてもよいし、有機溶媒に溶解して用いてもよい。

【0055】(C) 電荷輸送層

電荷輸送層は、色素の酸化体に電子を補充する機能を有する電荷輸送材料を含有する層である。本発明で用いることのできる代表的な電荷輸送材料の例としては、(i) イオン輸送材料として、酸化還元対のイオンが溶解した溶液（電解液）、酸化還元対の溶液をポリマーマトリックスのゲルに含浸したいわゆるゲル電解質、酸化還元対イオンを含有する熔融塩電解質、さらには固体電解質が挙げられ、これら電解質を含む組成物（電解質組成物）を電荷輸送層に用いることができる。また、イオンがかかわる電荷輸送材料のほかに、(ii) 固体中のキャリア移動がかかわる電荷輸送材料として、電子輸送材料や正孔（ホール）輸送材料を用いることもできる。これらの電荷輸送材料は、併用することができる。

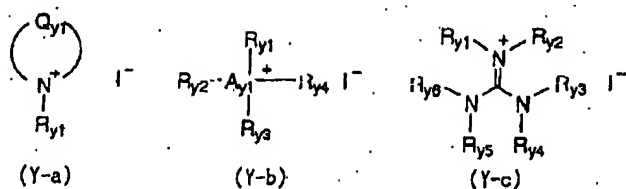
【0056】(1) 熔融塩電解質

熔融塩電解質は、光電変換効率と耐久性の両立という観点から特に好ましい。熔融塩電解質とは、室温において液状であるか、または低融点の電解質であり、例えばW095/18456号、特開平8-259543号、電気化学、第65巻、11号、923頁（1997年）等に記載されているピリジニウム塩、イミダゾリウム塩、トリアゾリウム塩等の既知の電解質を挙げることができる。100℃以下、特に室温付近において液状となる熔融塩が好ましい。

【0057】好ましく用いることのできる熔融塩としては、下記一般式（Y-a）、（Y-b）及び（Y-c）のいずれかにより表されるものが挙げられる。

【0058】

【化11】



【0059】一般式 (Y-a) 中、 Q_{y1} は窒素原子と共に5又は6員環の芳香族カチオンを形成しうる原子団を表す。 Q_{y1} は炭素原子、水素原子、窒素原子、酸素原子及び硫黄原子からなる群から選ばれる1種以上の原子により構成されるのが好ましい。 Q_{y1} により形成される5員環は、オキサゾール環、チアゾール環、イミダゾール環、ピラゾール環、イソオキサゾール環、チアジアゾール環、オキサジアゾール環、トリアゾール環、インドール環またはピロール環であるのが好ましく、オキサゾール環、チアゾール環又はイミダゾール環であるのがより好ましく、オキサゾール環又はイミダゾール環であるのが特に好ましい。 Q_{y1} により形成される6員環は、ピリジン環、ピリミジン環、ピリダジン環、ピラジン環又はトリアジン環であるのが好ましく、ピリジン環であるのがより好ましい。

【0060】一般式 (Y-b) 中、 A_{y1} は窒素原子又はリン原子を表す。

【0061】一般式 (Y-a)、(Y-b) 及び (Y-c) 中の $R_{y1} \sim R_{y6}$ は、それぞれ独立に、置換又は無置換のアルキル基 (好ましくは炭素原子数1~24、直鎖状であっても分岐状であっても、また環状であってもよく、例えばメチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、ベンチル基、ヘキシル基、オクチル基、2-エチルヘキシル基、 α -オクチル基、デシル基、ドデシル基、テトラデシル基、2-ヘキシルデシル基、オクタデシル基、シクロヘキシル基、シクロペンチル基等)、或いは置換又は無置換のアルケニル基 (好ましくは炭素原子数2~24、直鎖状であっても分岐状であってもよく、例えばビニル基、アリル基等) を表し、より好ましくは炭素原子数2~18のアルキル基又は炭素原子数2~18のアルケニル基であり、特に好ましくは炭素原子数2~6のアルキル基である。

【0062】また、一般式 (Y-b) 中の $R_{y1} \sim R_{y4}$ のうち2つ以上が互いに連結して A_{y1} を含む非芳香族環を形成してもよく、一般式 (Y-c) 中の $R_{y1} \sim R_{y6}$ のうち2つ以上が互いに連結して環構造を形成してもよい。

【0063】一般式 (Y-a)、(Y-b) 及び (Y-c) 中の Q_{y1} 及び $R_{y1} \sim R_{y6}$ は置換基を有していてもよく、好ましい置換基の例としては、ハロゲン原子 (F、Cl、Br、I 等)、シアノ基、アルコキシ基 (メトキシ基、エトキシ

基、メトキシエトキシ基、メトキシエトキシエトキシ基等)、アリーロキシ基 (フェノキシ基等)、アルキルチオ基 (メチルチオ基、エチルチオ基等)、アルコキシカルボニル基 (エトキシカルボニル基等)、炭酸エステル基 (エトキシカルボニルオキシ基等)、アシル基 (アセチル基、プロピオニル基、ベンゾイル基等)、スルホニル基 (メタンスルホニル基、ベンゼンスルホニル基等)、アシルオキシ基 (アセトキシ基、ベンゾイルオキシ基等)、スルホニルオキシ基 (メタンスルホニルオキシ基、トルエンスルホニルオキシ基等)、ホスホニル基 (ジエチルホスホニル基等)、アミド基 (アセチルアミノ基、ベンゾイルアミノ基等)、カルバモイル基 (N,N-ジメチルカルバモイル基等)、アルキル基 (メチル基、エチル基、プロピル基、イソプロピル基、シクロプロピル基、ブチル基、2-カルボキシエチル基、ベンジル基等)、アリール基 (フェニル基、トリル基等)、複素環基 (ピリジル基、イミダゾリル基、フラニル基等)、アルケニル基 (ビニル基、1-プロペニル基等)、シリル基、シリルオキシ基等が挙げられる。

【0064】一般式 (Y-a)、(Y-b) 又は (Y-c) により表される化合物は、 Q_{y1} 又は $R_{y1} \sim R_{y6}$ を介して多量体を形成してもよい。

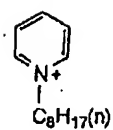
【0065】これらの溶融塩は、単独で使用しても、2種以上混合して使用してもよく、また、ヨウ素アニオンを他のアニオンで置き換えた溶融塩と併用することもできる。ヨウ素アニオンと置き換えるアニオンとしては、ハロゲン化物イオン (Cl^- 、 Br^- 等)、 SCN^- 、 BF_4^- 、 PF_6^- 、 ClO_4^- 、 $(CF_3SO_2)_2N^-$ 、 $(CF_3CF_2SO_2)_2N^-$ 、 $CH_3SO_3^-$ 、 $CF_3SO_3^-$ 、 CF_3COO^- 、 Ph_4B^- 、 $(CF_3SO_2)_3C^-$ 等が好ましい例として挙げられ、 SCN^- 、 $CF_3SO_3^-$ 、 CF_3COO^- 、 $(CF_3SO_2)_2N^-$ 又は BF_4^- であるのがより好ましい。また、LiI など他のヨウ素塩や CF_3COOLi 、 CF_3COONa 、 $LiSCN$ 、 $NaSCN$ などのアルカリ金属塩を添加することもできる。アルカリ金属塩の添加量は、0.02~2質量%程度であるのが好ましく、0.1~1質量%がさらに好ましい。

【0066】本発明で好ましく用いられる溶融塩の具体例を以下に挙げるが、これらに限定されるわけではない。

【0067】

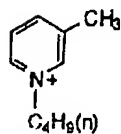
【化12】

(Y1)

 X^-

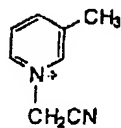
- Y1-1 $X=I$
 Y1-2 $X=BF_4$
 Y1-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$
 Y1-4 $X=PF_6$

(Y2)

 X^-

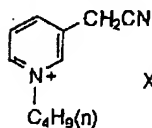
- Y2-1 $X=I$
 Y2-2 $X=BF_4$
 Y2-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$
 Y2-4 $X=CF_3COO^-$
 Y2-5 $X=SCN$
 Y2-6 $X=CF_3SO_3$

(Y3)

 X^-

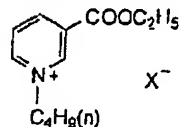
- Y3-1 $X=I$
 Y3-2 $X=BF_4$
 Y3-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$

(Y4)

 X^-

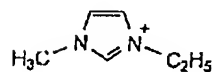
- Y4-1 $X=I$
 Y4-2 $X=BF_4$
 Y4-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$

(Y5)

 X^-

- Y5-1 $X=I$
 Y5-2 $X=BF_4$
 Y5-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$

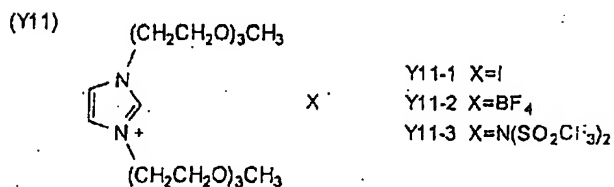
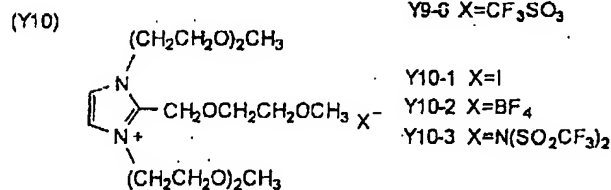
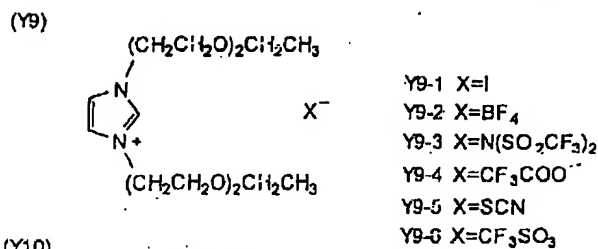
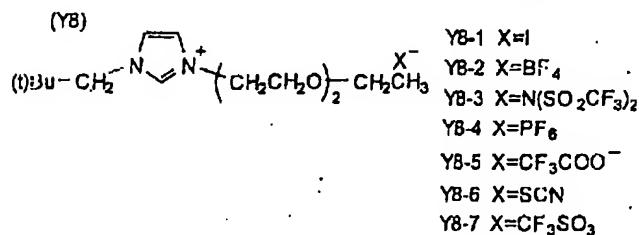
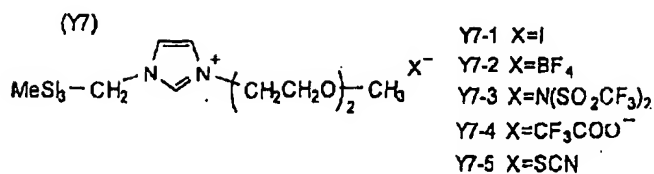
(Y6)

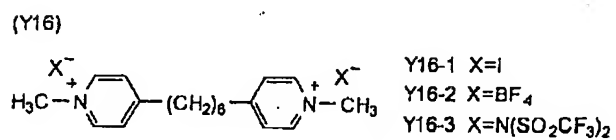
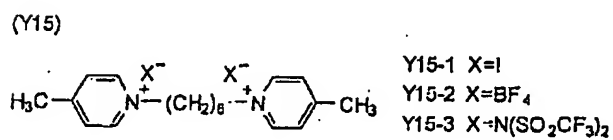
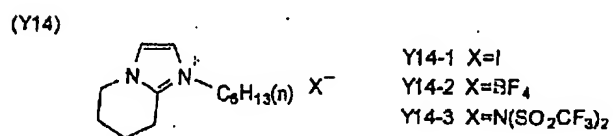
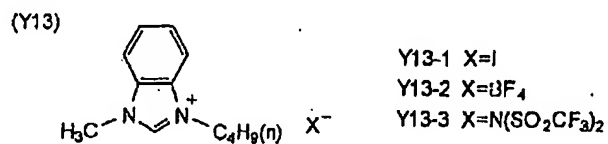
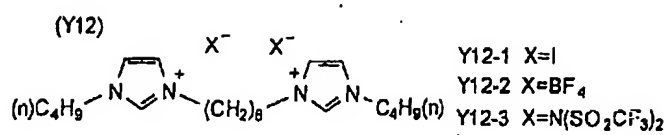
 X^-

- Y6-1 $X=I$
 Y6-2 $X=BF_4$
 Y6-3 $X=N(SO_2CF_3)_2$
 Y6-4 $X=Br$
 Y6-5 $X=CF_3COO^-$
 Y6-6 $X=SCN$
 Y6-7 $X=CF_3SO_3$

【0068】

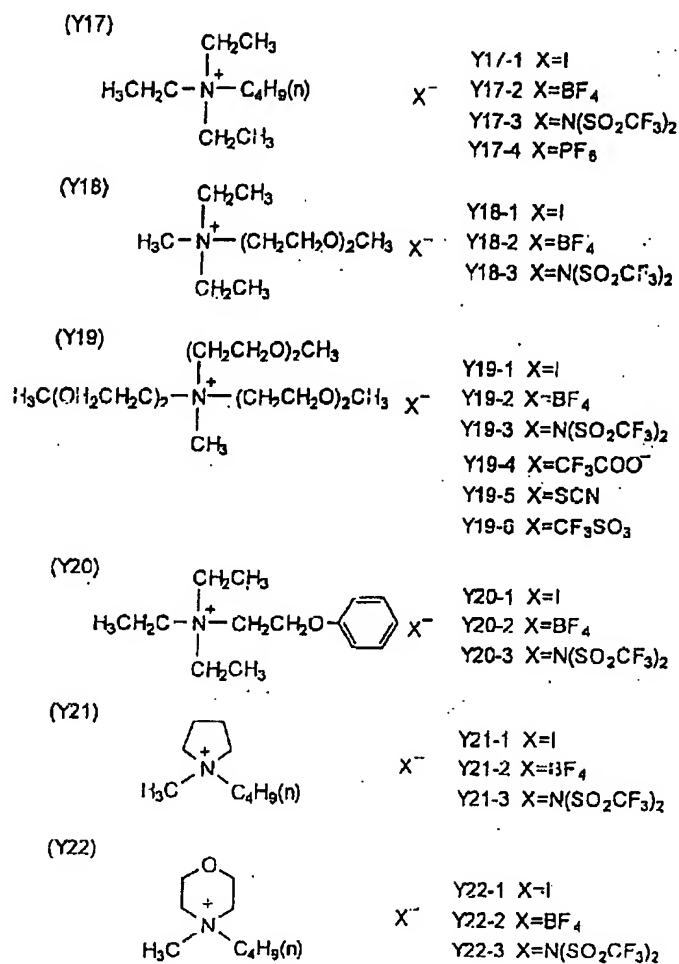
【化13】





【0070】

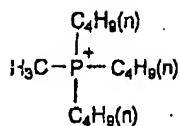
【化15】



【0071】

【化16】

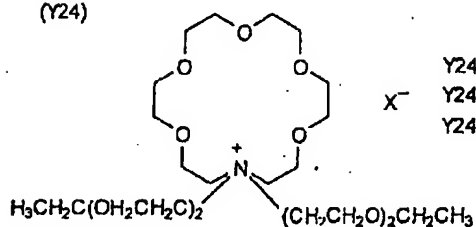
(Y23)



Y23-1 X=I

Y23-2 X=BF₄Y23-3 X=N(SO₂CF₃)₂

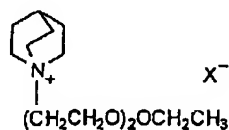
(Y24)



Y24-1 X=I

Y24-2 X=BF₄Y24-3 X=N(SO₂CF₃)₂

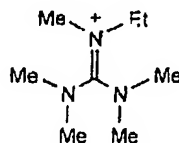
(Y25)



Y25-1 X=I

Y25-2 X=BF₄Y25-3 X=N(SO₂CF₃)₂

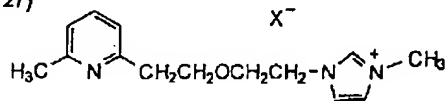
(Y26)



Y26-1 X=I

Y26-2 X=N(SO₂CF₃)₂Y26-3 X=BF₄Y26-4 X=PF₆

(Y27)



Y27-1 X=I

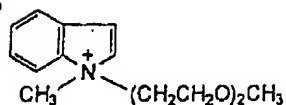
Y27-2 X=N(SO₂CF₃)₂Y27-3 X=BF₄Y27-4 X=CF₃COO⁻

Y27-5 X=SCN

Y27-6 X=CF₃SO₃

【0072】

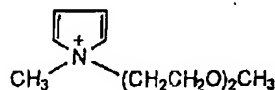
(Y28)



Y28-1 X=I

Y28-2 X=BF₄Y28-3 X=N(SO₂CF₃)₂

(Y29)



Y29-1 X=I

Y29-2 X=BF₄Y29-3 X=N(SO₂CF₃)₂

【化17】

【0073】上記溶融塩電解質は常温で溶融状態であるものが好ましく、溶媒を用いない方が好ましい。後述する溶媒を添加しても構わないが、溶融塩の含有量は電解質組成物全体に対して50質量%以上であるのが好ましく、90質量%以上であるのが特に好ましい。また、塩のうち、50質量%以上がヨウ素塩であることが好ましい。

【0074】上記電解質組成物にはヨウ素を添加するのが好ましく、この場合、ヨウ素の含有量は、電解質組成物全体に対して0.1~20質量%であるのが好ましく、0.5~5質量%であるのがより好ましい。

【0075】(2) 電解液
電荷輸送層に電解液を使用する場合、電解液は電解質、

溶媒、および添加物から構成されることが好ましい。本発明の電解質は I_2 とヨウ化物の組み合わせ（ヨウ化物としては LiI 、 NaI 、 KI 、 CsI 、 CaI_2 などの金属ヨウ化物、あるいはテトラアルキルアンモニウムヨードライド、ピリジニウムヨードライド、イミダゾリウムヨードライドなど4級アンモニウム化合物のヨウ素塩など）、 Br_2 と臭化物の組み合わせ（臭化物としては $LiBr$ 、 $NaBr$ 、 KBr 、 $CsBr$ 、 $CaBr_2$ などの金属臭化物、あるいはテトラアルキルアンモニウムブロマイド、ピリジニウムブロマイドなど4級アンモニウム化合物の臭素塩など）のほか、フェロシアン酸塩-フェリシアン酸塩やフェロセン-フェリシニウムイオンなどの金属錯体、ポリ硫化ナトリウム、アルキルチオール-アルキルジスルフィドなどのイオウ化合物、ピオログン色素、ヒドロキノン-キノンなどを用いることができる。この中でも I_2 と LiI やピリジニウムヨードライド、イミダゾリウムヨードライドなど4級アンモニウム化合物のヨウ素塩を組み合わせた電解質が好ましい。上述した電解質は混合して用いてもよい。

【0076】好ましい電解質濃度は0.1M以上10M以下であり、さらに好ましくは0.2M以上4M以下である。また、電解液にヨウ素を添加する場合の好ましいヨウ素の添加濃度は0.01M以上0.5M以下である。

【0077】電解質に使用する溶媒は、粘度が低くイオン易動度を向上したり、もしくは誘電率が高く有効キャリアー濃度を向上したりして、優れたイオン伝導性を発現できる化合物であることが望ましい。このような溶媒としては、エチレンカーボネート、プロピレンカーボネートなどのカーボネート化合物、3-メチル-2-オキサゾリジノンなどの複素環化合物、ジオキサン、ジエチルエーテルなどのエーテル化合物、エチレングリコールジアルキルエーテル、プロピレングリコールジアルキルエーテル、ポリエチレングリコールジアルキルエーテル、ポリプロピレングリコールジアルキルエーテルなどの鎖状エーテル類、メタノール、エタノール、エチレングリコールモノアルキルエーテル、プロピレングリコールモノアルキルエーテル、ポリエチレングリコールモノアルキルエーテル、ポリプロピレングリコールモノアルキルエーテルなどのアルコール類、エチレングリコール、プロピレングリコール、ポリエチレングリコール、ポリプロピレングリコール、グリセリンなどの多価アルコール類、アセトニトリル、グルタロジニトリル、メトキシアセトニトリル、プロピオニトリル、ベンゾニトリルなどのニトリル化合物、ジメチルスルフォキシド、スルフォランなど非プロトン極性物質、水などが挙げられ、これらを混合して用いることもできる。

【0078】また、本発明では、J. Am. Ceram. Soc., 80 (12)3157-3171(1997)に記載されているようなtert-ブチルピリジンや、2-ピコリン、2,6-ピリジン等の塩基性化合物を前述の熔融塩電解質や電解液に添加す

ることが好ましい。塩基性化合物を添加する場合の好ましい濃度範囲は0.05M以上2M以下である。

【0079】(3) ゲル電解質

本発明では、電解質はポリマー添加、オイルゲル化剤添加、多官能モノマー類を含む重合、ポリマーの架橋反応等の手法により、前述の熔融塩電解質や電解液をゲル化（固体化）させて使用することもできる。ポリマー添加によりゲル化させる場合は、“Polymer Electrolyte Reviews-1および2” (J.R. MacCallumとC.A. Vincentの共編、ELSEVIER APPLIED SCIENCE)に記載された化合物を使用することができるが、特にポリアクリロニトリル、ポリフッ化ビニリデンを好ましく使用することができる。オイルゲル化剤添加によりゲル化させる場合は工業科学雑誌 (J. Chem. Soc. Japan, Ind. Chem. Sec.), 46,779(1943), J. Am. Chem. Soc., 111,5542(1989), J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1993, 390, Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 35,1949(1996), Chem. Lett., 1996, 885, J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1997,545に記載されている化合物を使用することができるが、好ましい化合物は分子構造中にアミド構造を有する化合物である。電解液をゲル化した例は特開平11-185863号公報に、熔融塩電解質をゲル化した例は特開2000-58140号公報に記載されており、本発明にも適用できる。

【0080】また、ポリマーの架橋反応により電解質をゲル化させる場合、架橋可能な反応性基を含有するポリマーおよび架橋剤を併用することが望ましい。この場合、好ましい架橋可能な反応性基は、アミノ基、含窒素複素環（例えば、ピリジン環、イミダゾール環、チアゾール環、オキサゾール環、トリアゾール環、モルホリン環、ピペリジン環、ピペラジン環など）であり、好ましい架橋剤は、窒素原子に対して求電子反応可能な2官能以上の試薬（例えば、ハロゲン化アルキル類、ハロゲン化アラルキル類、スルホン酸エステル類、酸無水物、酸クロライド類、イソシアネート化合物、 α 、 β -不飽和スルホン基含有化合物、 α 、 β -不飽和カルボニル基含有化合物、 α 、 β -不飽和ニトリル基含有化合物など）であり、特開2000-17076号公報、同2000-86724号公報に記載されている架橋技術も適用できる。

【0081】(4) 正孔輸送材料

本発明では、熔融塩などのイオン伝導性電解質の替わりに、有機または無機あるいはこの両者を組み合わせた固体の正孔輸送材料を使用することができる。

(a) 有機正孔輸送材料

本発明に適用可能な有機正孔輸送材料としては、J. Hagen et al., Synthetic Metal 89(1997)215-220, Nature, Vol. 395, 8 Oct. 1998, p583-585およびW097/10617、特開昭59-194393号公報、特開平5-234681号公報、米国特許第4,923,774号、特開平4-308688号公報、米国特許

第4, 764, 625号、特開平3-269084号公報、特開平4-129271号公報、特開平4-175395号公報、特開平4-264189号公報、特開平4-290851号公報、特開平4-364153号公報、特開平5-25473号公報、特開平5-239455号公報、特開平5-320634号公報、特開平6-1972号公報、特開平7-138562号公報、特開平7-252474号公報、特開平11-144773号公報等に示される芳香族アミン類や、特開平11-149821号公報、特開平11-148067号公報、特開平11-176489号公報等に記載のトリフェニレン誘導体類を好ましく用いることができる。また、Adv. Mater. 1997, 9, NO. 7, p557、Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1995, 34, No. 3, p303-307、JACS, Vol. 120, NO. 4, 1998, p664-672等に記載されているオリゴチオフェン化合物、K. Murakoshi et al., Chem. Lett. 1997, p471に記載のポリピロール、
 “Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers Vol. 1, 2, 3, 4” (NALWA著、WILEY出版)に記載されているポリアセチレンおよびその誘導体、ポリ(p-フェニレン) およびその誘導体、ポリ(p-フェニレンビニレン) およびその誘導体、ポリチエニレンビニレンおよびその誘導体、ポリチオフェンおよびその誘導体、ポリアニリンおよびその誘導体、ポリトルイジンおよびその誘導体等の導電性高分子を好ましく使用することができる。

【0082】正孔(ホール)輸送材料にはNature, Vol. 395, 8 Oct. 1998, p583-585に記載されているようにドーパントレベルをコントロールするためにトリス(4-プロモフェニル)アミニウムヘキサクロロアンチモネートのようなカチオンラジカルを含有する化合物を添加したり、酸化物半導体表面のポテンシャル制御(空間電荷層の補償)を行うためにLi[(CF₃SO₂)₂N]のような塩を添加しても構わない。

【0083】(b) 無機正孔輸送材料

無機正孔輸送材料としては、p型無機化合物半導体を用いることができる。この目的のp型無機化合物半導体は、バンドギャップが2eV以上であることが好ましく、さらに2.5eV以上であることが好ましい。また、p型無機化合物半導体のイオン化ポテンシャルは色素の正孔を還元できる条件から、色素吸着電極のイオン化ポテンシャルより小さいことが必要である。使用する色素によってp型無機化合物半導体のイオン化ポテンシャルの好ましい範囲は異なってくるが、一般に4.5eV以上5.5eV以下であることが好ましく、さらに4.7eV以上5.3eV以下であることが好ましい。好ましいp型無機化合物半導体は一価の銅を含む化合物半導体であり、一価の銅を含む化合物半導体の例としてはCuI、CuSCN、CuInSe₂、Cu(In,Ga)Se₂、CuGaSe₂、Cu₂O、CuS、CuGaS₂、CuInS₂、CuAlSe₂などが挙げられる。この中でもCuIおよびCuSCNが好ましく、CuIが最も好ましい。このほかのp型無機化合物半導体として、GaP、NiO、CoO、FeO、Bi₂O₃、MoO₂、Cr₂O₃等を用いることができる。

【0084】(5) 電荷輸送層の形成

電荷輸送層の形成方法に関しては2通りの方法が考えられる。1つは感光層の上に先に対極を貼り合わせておき、その間隙に液状の電荷輸送層を挟み込む方法である。もう1つは感光層上に直接、電荷輸送層を付与する方法で、対極はその後付与することになる。

【0085】前者の場合、電荷輸送層の挟み込み方法として、浸漬等による毛管現象を利用する常圧プロセス、または常圧より低い圧力にして間隙の気相を液相に置換する真空プロセスを利用できる。

【0086】後者の場合、湿式の電荷輸送層においては未乾燥のまま対極を付与し、エッジ部の液漏洩防止措置を施すことになる。またゲル電解質の場合には湿式で塗布して重合等の方法により固体化する方法があり、その場合には乾燥、固定化した後に対極を付与することもできる。電解液のほか湿式有機正孔輸送材料やゲル電解質を付与する方法としては、前述の半導体微粒子層や色素の付与と同様の方法を利用できる。

【0087】固体電解質や固体の正孔(ホール)輸送材料の場合には真空蒸着法やCVD法等のドライ成膜処理で電荷輸送層を形成し、その後対極を付与することもできる。有機正孔輸送材料は真空蒸着法、キャスト法、塗布法、スピンコート法、浸漬法、電解重合法、光電解重合法等の手法により電極内部に導入することができる。無機固体化合物の場合も、キャスト法、塗布法、スピンコート法、浸漬法、電解析出法、無電解メッキ法等の手法により電極内部に導入することができる。

【0088】(D) 対極

対極は前記の導電性支持体と同様に、導電性材料からなる対極導電層の単層構造でもよいし、対極導電層と支持基板から構成されていてもよい。対極導電層に用いる導電材としては、金属(例えば白金、金、銀、銅、アルミニウム、マグネシウム、インジウム等)、炭素、または導電性金属酸化物(インジウムスズ複合酸化物、フッ素ドーパ酸スズ、等)が挙げられる。この中でも白金、金、銀、銅、アルミニウム、マグネシウムを対極層として好ましく使用することができる。対極の好ましい支持基板の例は、ガラスまたはプラスチックであり、これに上記の導電剤を塗布または蒸着して用いる。対極導電層の厚さは特に制限されないが、3nm~10μmが好ましい。対極層の表面抵抗は低い程よい。好ましい表面抵抗の範囲としては50Ω/□以下であり、さらに好ましくは20Ω/□以下である。

【0089】導電性支持体と対極のいずれか一方または両方から光を照射してよいので、感光層に光が到達するためには、導電性支持体と対極の少なくとも一方が実質的に透明であれば良い。発電効率の向上の観点からは、導電性支持体を透明にして、光を導電性支持体側から入射させるのが好ましい。この場合対極は光を反射する性質を有するのが好ましい。このような対極としては、金

属または導電性の酸化物を蒸着したガラスまたはプラスチック、あるいは金属薄膜を使用できる。

【0090】対極は、電荷輸送層上に直接導電材を塗布、メッキまたは蒸着（PVD、CVD）するか、導電層を有する基板の導電層側に貼り付けられればよい。また、導電性支持体の場合と同様に、特に対極が透明の場合には、対極の抵抗を下げる目的で金属リードを用いるのが好ましい。なお、好ましい金属リードの材質および設置方法、金属リード設置による入射光量の低下等は導電性支持体の場合と同じである。

【0091】(E) その他の層

対極と導電性支持体の短絡を防止するため、予め導電性支持体と感光層の間に緻密な半導体の薄膜層を下塗り層として塗設しておくことが好ましく、電荷輸送層に電子輸送材料や正孔輸送材料を用いる場合は、特に有効である。下塗り層として好ましいのは TiO_2 、 SnO_2 、 Fe_2O_3 、 WO_3 、 ZnO 、 Nb_2O_5 であり、さらに好ましくは TiO_2 である。下塗り層は、例えばElectrochim. Acta 40, 643-652(1995)に記載されているスプレーパイロリシス法の他、スパッタ法等により塗設することができる。下塗り層の好ましい膜厚は5～1000nmであり、10～500nmがさらに好ましい。

【0092】また、電極として作用する導電性支持体と対極の一方または両方の外側表面、導電層と基板の間または基板の中間に、保護層、反射防止層等の機能性層を設けても良い。これらの機能性層の形成には、その材質に応じて塗布法、蒸着法、貼り付け法等を用いることができる。

【0093】(F) 光電変換素子の内部構造の具体例
上述のように、光電変換素子の内部構造は目的に合わせ様々な形態が可能である。大きく2つに分ければ、両面から光の入射が可能な構造と、片面からのみ可能な構造が可能である。図2～図9に本発明に好ましく適用できる光電変換素子の内部構造を例示する。

【0094】図2は、透明導電層10aと透明対極導電層40aとの間に、感光層20と、電荷輸送層30とを介在させたものであり、両面から光が入射する構造となっている。図3は、透明基板50a上に一部金属リード11を設け、さらに透明導電層10aを設け、下塗り層60、感光層20、電荷輸送層30および対極導電層40をこの順で設け、さらに支持基板50を配置したものであり、導電層側から光が入射する構造となっている。図4は、支持基板50上にさらに導電層10を有し、下塗り層60を介して感光層20を設け、さらに電荷輸送層30と透明対極導電層40aとを設け、一部に金属リード11を設けた透明基板50aを、金属リード11側を内側にして配置したものであり、対極側から光が入射する構造である。図5は、透明基板50a上に一部金属リード11を設け、さらに透明導電層10a（または40a）を設けたもの1組の間に下塗り層60と感光層20と電荷輸送層30とを介在させたものであり、両面から光

が入射する構造である。図6は、透明基板50a上に透明導電層10a、下塗り層60、感光層20、電荷輸送層30および対極導電層40を設け、この上に支持基板50を配置したものであり導電層側から光が入射する構造である。図7は、支持基板50上に導電層10を有し、下塗り層60を介して感光層20を設け、さらに電荷輸送層30および透明対極導電層40aを設け、この上に透明基板50aを配置したものであり、対極側から光が入射する構造である。図8は、透明基板50a上に透明導電層10aを有し、下塗り層60を介して感光層20を設け、さらに電荷輸送層30および透明対極導電層40aを設け、この上に透明基板50aを配置したものであり、両面から光が入射する構造となっている。図9は、支持基板50上に導電層10を設け、下塗り層60を介して感光層20を設け、さらに固体の電荷輸送層30を設け、この上に一部対極導電層40または金属リード11を有するものであり、対極側から光が入射する構造となっている。

【0095】〔2〕光電池

本発明の光電池は、上記光電変換素子に外部負荷で仕ことをさせるようにしたものである。光電池のうち、電荷輸送材料が主としてイオン輸送材料からなる場合を、特に光電気化学電池と呼び、また、太陽光による発電を主目的とする場合を太陽電池と呼ぶ。光電池は構成物の劣化や内容物の揮散を防止するために、側面をポリマーや接着剤等で密封するのが好ましい。導電性支持体および対極にリードを介して接続される外部回路自体は公知のもので良い。本発明の光電変換素子を太陽電池に適用する場合、そのセル内部の構造は基本的に上述した光電変換素子の構造と同じである。また、本発明の色素増感型太陽電池は、従来の太陽電池モジュールと基本的には同様のモジュール構造をとりうる。太陽電池モジュールは、一般的には金属、セラミック等の支持基板の上にセルが構成され、その上を充填樹脂や保護ガラス等で覆い、支持基板の反対側から光を取り込む構造をとるが、支持基板に強化ガラス等の透明材料を用い、その上にセルを構成してその透明の支持基板側から光を取り込む構造とすることも可能である。具体的には、スーパーストレートタイプ、サブストレートタイプ、ポッティングタイプと呼ばれるモジュール構造、アモルファスシリコン太陽電池などで用いられる基板一体型モジュール構造等が知られており、本発明の色素増感型太陽電池も使用目的や使用場所および環境により、適宜これらのモジュール構造を選択できる。具体的には、特開2000-268892に記載の構造や態様とすることが好ましい。

【0096】

【実施例】以下、本発明を実施例によって具体的に説明する。

実施例1

(1) 比較用酸化チタン粒子分散液の調製

水360g、酢酸12gを混合した液に25℃にてオル

トチタン酸テトライソプロピル（和光純薬製）62 gを一気に添加し1時間攪拌した。濃硝酸6 mlを加え80℃にて4時間攪拌した。得られた酸化チタンゾルのうち50 mlをステンレス製オートクレーブに移し替え、240℃で16時間攪拌した。得られた酸化チタン分散物を15000回転で30分間遠心分離した。デカンテーションで上澄みを除き、ポリエチレングリコール（分子量20000、和光純薬製）0.3 g、水11 gを加えて溶解した。さらにエタノール1 g、濃硝酸0.4 mlを加え、比較用酸化チタン分散液（A）を得た。（A）の酸化チタン含有量は15%、X線回折法により求めた平均粒径は16 nmであった。

【0097】（2）本発明の酸化チタン分散液の調製ははじめに水360 gに対し、表1に示した通りに尿素化合物を添加する以外は上記（1）と同様にして酸化チタ

ン分散液B-1～B-5を調製した。酸化チタン含量、粒径ともに比較用分散液と同じであった。

【0098】（3）大粒子を含む本発明の酸化チタン分散液の調製

前記B-1～B-5と同様の方法で調製した酸化チタン分散液に対し、関東化学製アナターゼ型 TiO_2 （粒子B：平均粒径100nm～300nm）0.4 g、水2.5 ml、およびポリエチレングリコール（分子量20000、和光純薬製）0.06 gを加えた。この液を45℃で3時間攪拌して十分に混合し、塗布液C-1～C-5を得た。C-1～C-5における本発明の酸化チタン粒子と酸化チタン粒子Cとの混合比は重量比にして5：1である。

【0099】

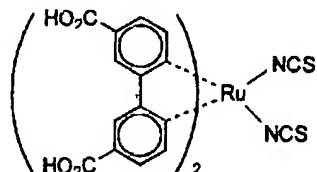
【表1】

TiO ₂ 分散液	尿素化合物		粒子B添加量
	例示化合物	使用量	
A	—	—	—
B-1	(1)	9.0 g	—
B-2	(3)	13.2 g	—
B-3	(4)	13.2 g	—
B-4	(12)	15.6 g	—
B-5	(16)	11.3 g	—
C-1	(1)	9.0 g	0.4 g
C-2	(3)	13.2 g	0.4 g
C-3	(4)	13.2 g	0.4 g
C-4	(12)	15.6 g	0.4 g
C-5	(16)	11.3 g	0.4 g

【0100】2. 色素を吸着した酸化チタン電極の作成
フッ素をドーブした酸化スズをコーティングした透明導電性ガラス（日本板硝子製、表面抵抗は約 $10\Omega/\text{cm}^2$ ）を11枚用意し、その導電面側に上記で得た塗布液（A）、B-1～5、およびC-1～5を、それぞれドクターブレードを用いて塗布した。25℃で30分間乾燥した後、電気炉（ヤマト科学製マッフル炉FP-32型）で450℃にて30分間焼成した。塗布、焼成前後の重量変化より単位面積あたりの塗布量を計算で求めた。焼成後、下記の色素（A）0.3ミリモル/lを含む吸着液に16時間浸漬した。吸着温度は25℃、吸着液の溶媒はエタノール、 α -ブタノール、アセトニトリルの1：1：2（体積比）混合物である。色素の染着した酸化チタン電極をエタノール、アセトニトリルで順次洗浄した。

【0101】

【化18】



【0102】このときの色素担持量を測定したところ、

塗布液（A）よりなる酸化チタン電極では $8 \times 10^{-5} \text{mol}/\text{cm}^2$ であり、一方、塗布液（B-1）よりなる酸化チタン電極では $1.1 \times 10^{-4} \text{mol}/\text{cm}^2$ と、色素担持量が増加していることがわかった。

【0103】3. 光電変換素子の作成

上述のようにして作成した色素増感酸化チタン電極基板（2cm×2cm）をこれと同じ大きさの白金蒸着ガラスと重ね合わせた（図1参照）。次に、両ガラスの隙間に毛细管現象を利用して電解液（ヨウ化1，3-ジメチルイミダゾリウム0.65モル/リットル，ヨウ素0.05モル/リットル， α -ブチルピリジン0.1モル/lのアセトニトリル溶液）をしみこませて酸化チタン電極中に導入することにより、表2に示す光電変換素子CA、CB-1～CB-5、CC-1～CC-5を得た。

【0104】本実施例により、図10に示したとおり、導電性ガラス1（ガラス2上に導電剤層3が設けられたもの）、色素を吸着させた酸化チタン電極4、電解液5、白金層6およびガラス7が順に積層された光電変換素子が作成された。

【0105】4. 光電変換効率の測定

500Wのキセノンランプ（ウシオ製）の光を分光フィルター（Oriental社製AM1.5）を通すことにより模擬太陽光を発生させた。この光の強度は垂直面において $98 \text{mW}/\text{cm}^2$ であった。光電気化学電池の導電性ガラスの端

部に銀ペーストを塗布して負極とし、この負極と白金蒸着ガラス（正極）を電流電圧測定装置（ケースレーSMU 238型）に接続した。模擬太陽光を垂直に照射しながら、電流電圧特性を測定し、変換効率を求めた。表3に

は実施例で作成された光電変換素子の変換効率を示した。

【0106】

【表2】

光電変換素子	TiO ₂ 分散液	TiO ₂ 塗布量 (g/m ²)	変換効率 (%)	
CA	A	16.5	4.9	比較例
CB-1	B-1	16.2	5.9	本発明
CB-2	B-2	16.3	5.7	本発明
CB-3	B-3	16.3	5.3	本発明
CB-4	B-4	16.3	5.8	本発明
CB-5	B-5	16.4	5.7	本発明
CC-1	C-1	16.2	6.9	本発明
CC-2	C-2	16.2	6.8	本発明
CC-3	C-3	16.3	6.4	本発明
CC-4	C-4	16.4	6.9	本発明
CC-5	C-5	16.3	6.7	本発明

【0107】本発明の酸化チタンを用いたセル（CB-1～CC-5）は、比較用セル（CA）に比べて変換効率が高いことがわかる。なかでも一般式（1）のR₃とR₄が水素原子である化合物を用いたことに相当するCB-1、CB-2、CB-4、CB-5はCB-3に比べて変換効率が高い。また、大粒子を含まないセル（CB-1～CB-5）と大粒子を含むセル（CC-1～CC-5）との比較では、後者の方が変換効率が高い。

【0108】

【発明の効果】本発明の方法によって製造された酸化チタン微粒子は、色素増感光電変換素子に用いたときに、該素子の変換効率が向上する。また、本発明の色素増感光電変換素子及び光電池は、本発明の方法によって製造された酸化チタン微粒子を用いているので、変換効率が向上している。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図2】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図3】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図4】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図5】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概

略断面図である。

【図6】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図7】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図8】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

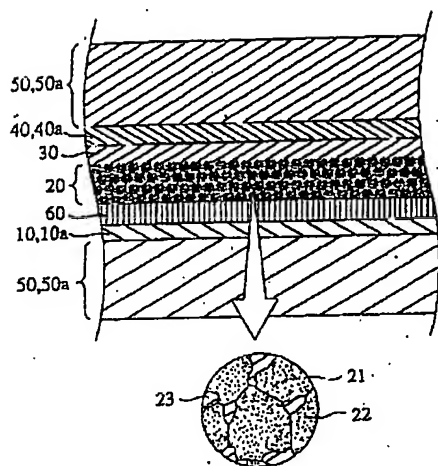
【図9】本発明の好ましい光電変換素子の構造を示す概略断面図である。

【図10】実施例で作成した光電変換素子の構成を示す概略断面図である。

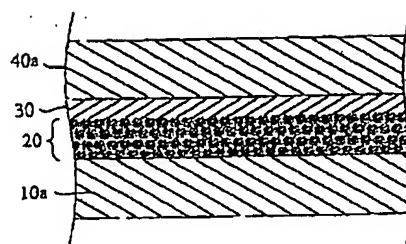
【符号の説明】

- 10 導電層
- 10a 透明導電層
- 11 金属リード
- 20 感光層
- 21 半導体微粒子
- 22 色素
- 23 電荷輸送材料
- 30 電荷輸送層
- 40 対極導電層
- 40a 透明対極導電層
- 50 基板
- 50a 透明基板
- 60 下塗り層

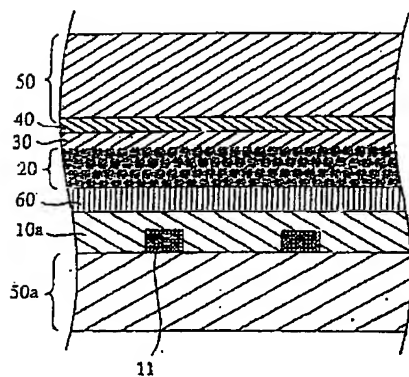
【図1】



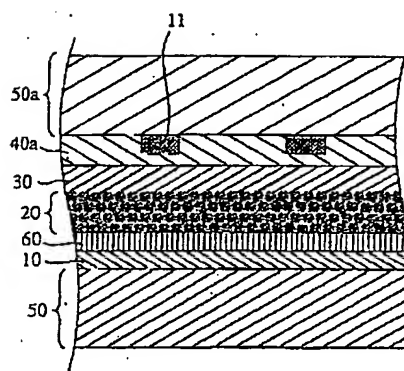
【図2】



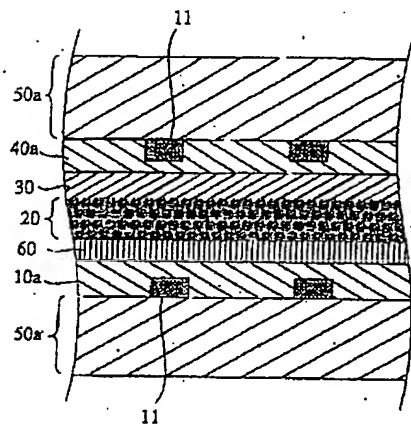
【図3】



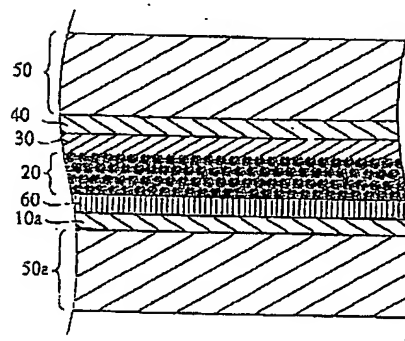
【図4】



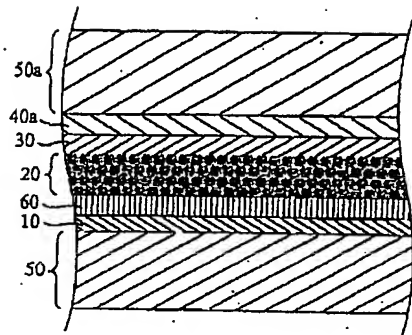
【図5】



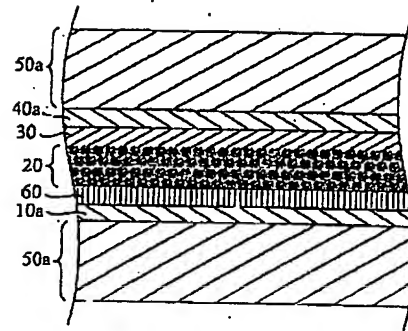
【図6】



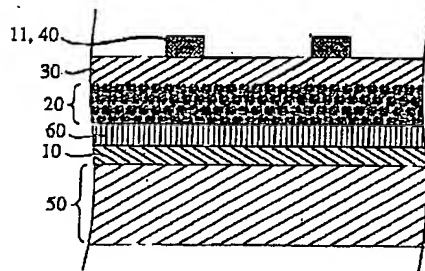
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

